



labor&more

3.14

Von Wissenschaftlern für Wissbegierige
in der Chemie, der Biotechnologie und Pharmaforschung

BEGEGNUNG MIT ET?

Vor 10 Jahren wurde die Raumsonde Rosetta von der Europäischen Weltraumbehörde ESA auf den Weg gebracht mit dem Ziel, ein Landegerät auf dem Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko (40 Lichtminuten von der Erde entfernt) abzusetzen, um dort analytische Experimente durchzuführen. Das Rendezvous mit dem Kometen steht nun unmittelbar bevor. Was werden wir lernen über die Grundbausteine unseres Sonnensystem?



Kometenanalytik

Fernes Ziel ganz nah

Wasseranalytik

Kleine Moleküle gut sortiert

Lebensmittelanalytik

Schokogenuss garantiert edel

 **BINDER**

Best conditions for your success

www.binder-world.com

homo astronautic



Johann-Dietrich Wörner, Jg. 1954, studierte Bauingenieurwesen an der Technischen Hochschule Berlin und der Technischen Universität Darmstadt, wo er im Jahr 1985 promovierte. 1982 ging er für einen Forschungsaufenthalt zum Thema „Erdbebensicherheit“ für zwei Jahre nach Japan. 1990 wurde Wörner an die Technische Hochschule Darmstadt berufen. Bevor Wörner 1995 zum Präsidenten der Technischen Universität Darmstadt gewählt wurde, war er technischer Leiter des Instituts für Konstruktiven Glasbau und Dekan des Fachbereichs Bauingenieurwesen. Wörner wurde mit zahlreichen Preisen und Auszeichnungen wie z. B. dem Preis der Vereinigung von Freunden der Technischen Hochschule Darmstadt für „Hervorragende wissenschaftliche Leis-

tungen“ geehrt. Außerdem wurde er in die Berlin Brandenburgische Akademie der Wissenschaften berufen und ist Obmann der Sektion Technikwissenschaften der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. Des Weiteren erhielt er die Ehrendoktorwürde der State University New York (USA), der Technischen Universitäten Moldawien, Bukarest (Rumänien) und der Mongolei sowie der Universität St. Petersburg für Wirtschaft und Finanzen (Russland) und der École Centrale de Lyon (Frankreich). Wörner ist Mitglied in verschiedenen nationalen und internationalen Aufsichtsratsgremien, Beiräten und Kuratorien. Seit dem 01. März 2007 ist er Vorsitzender des Vorstandes des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Foto: DLR, CC-BY



US

An die Grenzen gehen und darüber hinaus

Entdeckungsreise im All – die Rosetta-Mission

Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner
Vorstandsvorsitzender des Deutschen Zentrums
für Luft- und Raumfahrt DLR

Das Wesen des Menschen ist von bemerkenswerter Natur. Als Kinder sind alle Menschen neugierig, wenn die Neugier bleibt, nennen wir diese Menschen Forscherinnen und Forscher. Offensichtlich werden wir oder zumindest viele von uns getrieben von unserer Neugier, unserem Streben nach immer neuem Wissen und dem Verlangen, immer wieder Grenzen zu überschreiten. Was wir wissen, ist uns nicht genug. Ein dauerhafter Zustand der geistigen Sättigung wurde dem Menschen auf seinem Weg durch die Evolution nicht mitgegeben. Wissen macht Lust auf mehr. Der moderne Mensch behauptet sich heute durch sein gezieltes Einwirken auf seine Umwelt, eine immer rasantere kulturelle Weiterentwicklung sowie sein historisches Bewusstsein, das ihn zum Entwurf von Zukunftsvisionen befähigt – resultierend aus dem über Generationen entstandenen Wissen. Ergo: Uns Menschen zeichnen Kreativität und Selbstreflexion aus.

Die Mission Rosetta

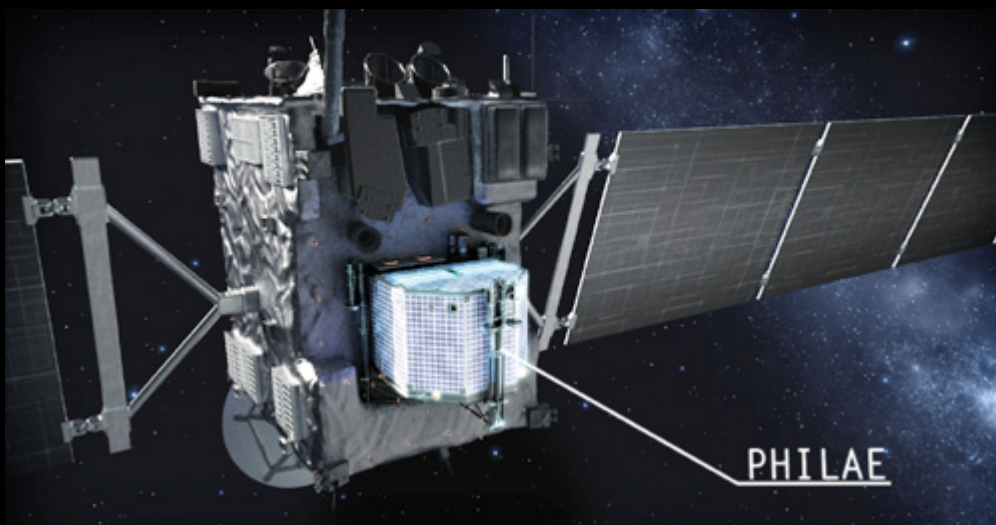
Rosetta ist eine Mission der ESA mit Beiträgen der Mitgliedsstaaten und der NASA. Die Mission besteht aus einem Orbiter und der Landeeinheit Philae. Das DLR hatte wesentliche Anteile am Bau des Landers und betreibt das Lander-Kontrollzentrum, das die schwierige und bisher noch nie gewagte Landung auf einem Kometen vorbereitet und betreuen wird.

homo astronautic



Die europäische Sonde Rosetta mit dem Kometenlander „Philae“ an Bord fliegt bereits seit dem 2. März 2004 durchs Weltall.

Foto: ESA



Der Lander Philae an Bord der europäischen Sonde Rosetta (Video-Still aus „Mission ins Ungewisse – der Kometenjäger Rosetta“).

Quelle: DLR (CC-BY 3.0)



Der Komet, der erst 1969 entdeckt wurde, hat einen Durchmesser [Kometenkern] von 4 Kilometern (Video-Still aus „Mission ins Ungewisse – der Kometenjäger Rosetta“).

Quelle: DLR (CC-BY 3.0)

Dass der Mensch Wissen schafft, liegt also in seiner Natur. Wissenschaftlicher Ehrgeiz ist auch der Antrieb des „homo astronauticus“, der danach strebt, die Geheimnisse und Möglichkeiten der letzten Terra incognita zu erkunden: das Weltall. Jahrhunderte lang wurde über das Wesen des Alls philosophiert, erst seit Mitte des 20. Jahrhunderts agiert der Mensch dort physisch.

Raumfahrt eröffnet eine Vielzahl von gänzlich neuen oder deutlich verbesserten Anwendungen. Sie eröffnet uns Möglichkeiten wie keiner Generation zuvor.

Ein wichtiger Teil der Raumfahrt beschäftigt sich mit elementaren Fragen der Grundlagenforschung: Wie entstand das Leben? Wie entwickelte sich unsere Erde? Was ist die Beschaffenheit des Universums?

Rosetta – auf der Suche nach den Ursprüngen

Der Name der ESA-Kometenmission Rosetta, eine der faszinierendsten und zugleich anspruchsvollsten Unternehmungen der europäischen Raumfahrt, bezieht sich auf den Stein von Rosetta, mit dessen Hilfe die Hieroglyphen entschlüsselt werden konnten. 1799 fanden Archäologen in der ägyptischen Stadt Rashid (Rosetta) einen dreisprachig beschrifteten Stein (Altgriechisch, Demotisch, Hieroglyphen). Zusammen mit den Inschriften eines Obelisken aus dem Tempel von Philae gelang es Jean François Champollion 1822, die bis dahin völlig rätselhafte Hieroglyphenschrift zu entziffern. Mit diesen Erkenntnissen konnten bisher unverständliche Inschriften übersetzt und eine längst vergangene Kultur erschlossen werden.

Ähnlich erhellende Einsichten wie in der Archäologie erwarten die Kometenforscher von der ersten gründlichen Erforschung eines Kometen durch die Raumsonde Rosetta mit ihrem Landegerät Philae. Erstmals wird eine Raumsonde nicht nur an einem Kometen vorbeifliegen, sondern ihn auf seinem Weg zur Sonne begleiten. Damit nicht genug: Ebenfalls wird zum ersten Mal in der Geschichte der Erforschung des Weltalls ein Landegerät auf einem Kometen aufsetzen und so vor Ort Experimente ermöglichen.

Elf Instrumente an Bord des Rosetta-Orbiters und zehn an Bord des Philae-Landers werden die Zusammensetzung des Kometenkerns sowie das Aktivwerden des Kometen auf dem Weg zu seinem sonnennächsten Punkt untersuchen. Die Fragen, ob sich die Kometenoberfläche tatsächlich in einer Art „Urzustand“ befindet und ob Kometen präbiotische Moleküle und Wasser zur Erde gebracht und somit eine Rolle bei der Entstehung des Lebens gespielt haben

könnten, sollen mithilfe dieser Mission beantwortet werden. Philae wurde von einem internationalen Konsortium unter Leitung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt DLR entwickelt und gebaut.

Rosetta – auf dem Weg

Nach ihrem Start am 2. März 2004 trat die Sonde ihre zehnjährige Reise zum Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko an. Auf ihrem Weg dorthin führte sie mehrere komplexe Flugmanöver durch - dreimal an der Erde und einmal am Mars vorbei -, die ihr den ausreichenden „Schwung“ für den langen Weg verliehen. Außerdem flog sie an den Asteroiden Steins im September 2008 und Lutetia im Juli 2010 vorbei, nahm Bilder von ihnen auf und führte umfangreiche physikalische Messungen durch.

Um den weiten Weg zum Kometen zurücklegen zu können, wurde Rosetta im Juli 2011 in einen Ruhemodus versetzt, weil die Flugbahn die Sonde bis jenseits der Jupiterbahn führte. Dort, in einer Entfernung von fast 800 Millionen Kilometern zur Sonne, hätten die Solarzellen nicht mehr ausreichend Strom für wichtige Funktionen erzeugen können. Am 20. Januar 2014 wurde sie wieder „geweckt“. Freude und Begeisterung im ESOC, dem ESA-Kontrollzentrum in Darmstadt, von wo aus die Mission geführt wird. Nun ist man dem Ziel nähergekommen – Rosetta befindet sich „nur“ neun Millionen Kilometer von Churyumov-Gerasimenko entfernt und wird seinem Ziel in jeder Sekunde 800 Meter näher kommen.

Rosetta – am Ziel

Im Mai 2014 wird sich Rosetta dem Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko auf 934.000 Kilometer genähert haben. Es folgt ein über mehrere Wochen dauerndes Rendezvousmanöver. Im August 2014 beginnt in 100 Kilometer Entfernung vom Kometen dessen globale Kartierung, um einen geeigneten Landeplatz für Philae zu bestimmen. Der tatsächliche Landeplatz wird dann im Oktober 2014 festgelegt. Für den 11. November 2014 ist die Landung von Philae vorgesehen – eine Premiere in der Geschichte der Raumfahrt.

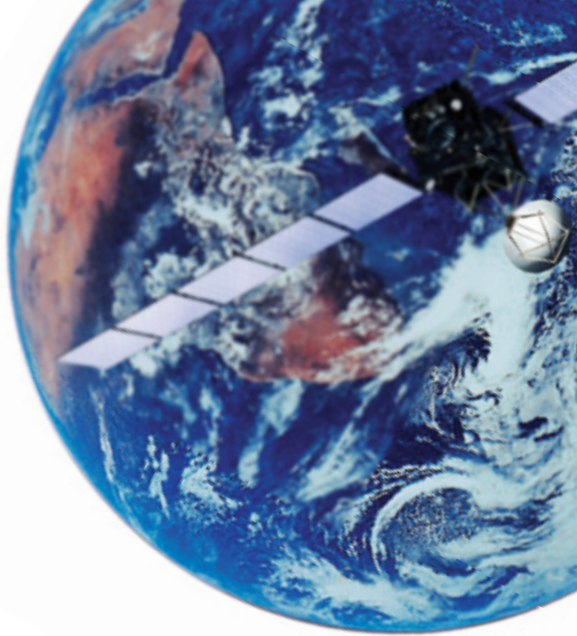
Ein Komet ist ein relativ kleiner Körper und hat wenig Schwerkraft. Das Problem ist nicht, bei der Landung zu zerschellen – die auf der Erde 100 Kilogramm schwere Landesonde wiegt auf dem vier Kilometer großen Kometen nur wenige Gramm. Die Schwierigkeit besteht vielmehr darin, dass der Philae-Lander nicht wieder vom Kometen abprallt. Deshalb werden sofort nach dem ersten Kontakt mit dem Kometen zwei Harpunen vom Lander abgeschossen, die ihn am Kometen verankern. Philae ist so konzipiert, dass für fast alle wichtigen Funktionen im Fall eines Fehlers eine oder mehrere Ersatzlösungen existieren. So besitzt Philae zwei Harpunen und außerdem eine kleine Düse, die beim Auftreffen gezündet wird, um eventuelle Rückprallimpulse zu kompensieren.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass der Komet zum Zeitpunkt der Landung bereits aktiv ist und Gas sowie Staub ausstößt. Das verschärft die Bedingungen weiter, dürfte die Mission jedoch hoffentlich nicht gefährden. Die Landung wird



Mitte November 2014 soll der Lander Philae auf dem Zielkometen 67P/Churyumov-Gerasimenko landen. (Video-Still aus „Mission ins Ungewisse – der Kometenjäger Rosetta“).

Quelle: DLR (CC-BY 3.0)



komplett automatisch geschehen, denn eine direkte Steuerung von der Erde ist aufgrund der großen Entfernung und der damit verbundenen Zeitverzögerung von etwa einer halben Stunde für die mit Lichtgeschwindigkeit ausgesendeten Signale nicht möglich. Das Kontrollzentrum des Landegeräts Philae der Rosetta-Mission befindet sich im Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (MUSC – Microgravity User Support Center) des DLR in Köln.

Rosetta – Faszination Raumfahrt

Natürlich, ein Risiko bleibt. Raumfahrt ist immer Technik und Technologie am Rande des Möglichen. Doch genau das ist es, was uns antreibt – das scheinbar Unmögliche zu wagen, gar zu schaffen.

Deshalb bleibt Raumfahrt auch 50 Jahre nach Sputnik eine große Faszination. Sie begeistert Jung und Alt. Denn Raumfahrt zeigt, was möglich ist. Wer Raumfahrt kann, kann alles. Diese Überzeugung hilft unserer Gesellschaft, um den dringend benötigten Nachwuchs für Natur- und Ingenieurwissenschaften, aber auch für Staats- und Verwaltungswissenschaften zu gewinnen. Raumfahrt bietet ein attraktives, abwechslungsreiches und hoch dynamisches Arbeitsumfeld für eine Vielzahl von Berufen. Sie fordert zu Mut, Neugier und Lust an Erneuerungen heraus. So bietet Raumfahrt dieser und künftigen Generationen ein weites Feld ungehobener Innovationsschätze.

Raumfahrt bleibt eine der bedeutendsten Entdeckungsreisen unserer Zeit, vergleichbar mit den großen Expeditionen eines Christoph Kolumbus, Ferdinand Magellan oder James Cook. Wie diese erweitert die Raumfahrt unser Wissen über die uns umgebene Welt auf fundamentale Weise und eröffnet vielfältigen Nutzen für unser tägliches Leben. Raumfahrt ist eine der großen Leistungen und Chancen unserer Zeit. Sie bietet die Chance, an die Grenzen zu gehen, gar darüber hinaus.

→ johann-dietrich.woerner@dlr.de

Foto: ESA, image by AOES Medialab

Rendezvous mit einem Kometen

Auf der Suche nach den Grundbausteinen des Sonnensystems

Dr. Stephan Ulamec

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Köln



Kometen versetzen die Menschen auf der Erde seit Jahrhunderten in Erstaunen. Ihr Erscheinen wurde meist in Zusammenhang mit irdischen Ereignissen gesetzt, mit Kriegen, Herrscherwechseln, Seuchen. Die eigentliche Natur dieser Himmelskörper blieb jedoch lange verborgen.

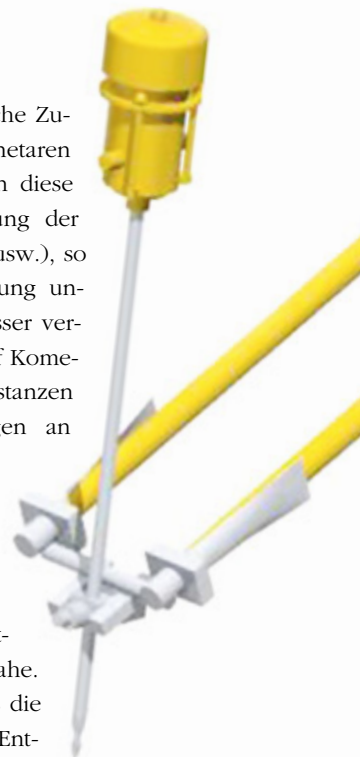
So wurden sie zunächst als atmosphärische Erscheinungen missinterpretiert, bis 1705 Edmond Halley durch die Vorausberechnung der Wiederkehr des später nach ihm benannten Kometen sie als Körper des Sonnensystems bestätigte, die, ähnlich den Planeten, die Sonne umkreisen. Eine Vermutung, Kometen wären „translunare Objekte“, hatten schon Georg von Peuerbach, 1456 und später Tycho Brahe. Die erste näherungsweise Bahnberechnung eines Kometen erfolgte 1680/81 vom Pastor Dörffel aus Plauen [1].

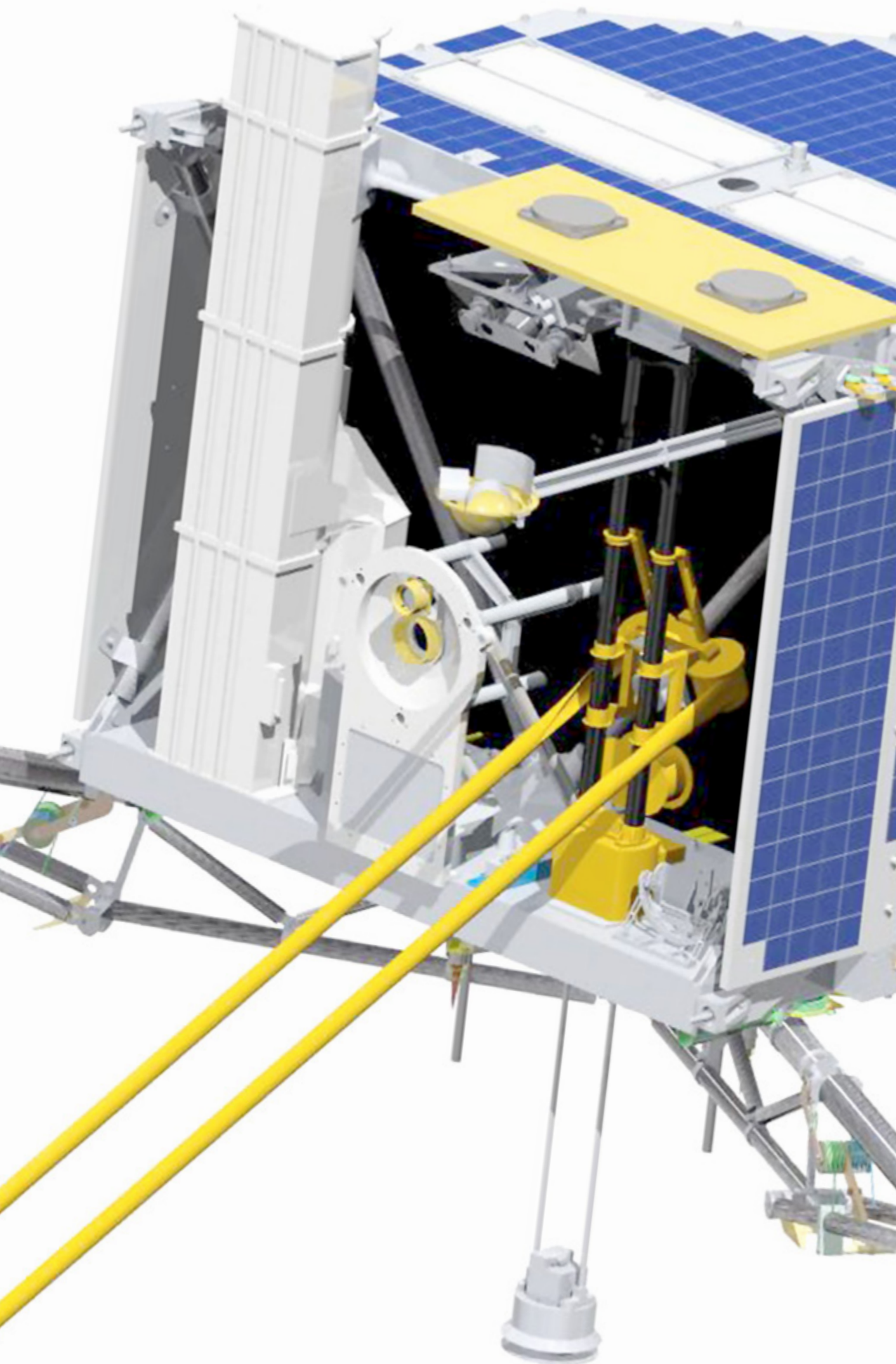
Heute wissen wir, dass Kometen Überbleibsel aus der Zeit der Entstehung des Sonnensystems vor etwa 4,6 Mrd. Jahren sind. Damals hat sich aus interplanetarem Gas und Staub eine planetare Wolke gebildet, die sich dann zu einer „Scheibe“ entwickelt hat. In dieser bildeten sich durch gravitative Prozesse relativ schnell (innerhalb weniger 10^7 Jahre) die großen Körper: im

Zentrum die Sonne und weiter außen die Planeten. Kleinere Trümmer und Staub blieben bei diesem Prozess übrig. In großer Entfernung zur Sonne, im Kuiper-Gürtel (bzw. noch weiter entfernt, in der Oort'schen Wolke) kreisen sie, kalt und nahezu unverändert, seit Anbeginn des Sonnensystems. Dann und wann kommen diese Körper nun ins Innere des Sonnensystems (z. B. durch Resonanzen oder durch den nahen Vorbeiflug an einem anderen Sternsystem). Sie werden erwärmt, die volatilen Komponenten (hpts. Wasser, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid) sublimieren, das entweichende Gas reißt Staubpartikel mit sich und es kommt zum Phänomen eines „Schweifes“. Das Wort Komet leitet sich ab von dem griechischen κόμη (Haupthaar). Ein Komet ist also ein „Haarstern“.

Wenn es nun gelingt, das Material von Kometen zu analysieren, so erhält man Informa-

tion über die ursprüngliche Zusammensetzung des planetaren Urnebels. Vergleicht man diese mit der Zusammensetzung der Erde (bzw. Mond, Mars usw.), so kann man die Entwicklung unseres Sonnensystems besser verstehen. Man erwartet, auf Kometen auch organische Substanzen nachzuweisen. Messungen an „simuliertem Kometenmaterial“ in Weltraumsimulationskammern unter UV- Bestrahlung [2] sowie Ergebnisse z. B. der Giotto- oder Stardust-Missionen legen dies nahe. Es gilt als plausibel, dass die Grundbausteine für die Ent-





CAD-Modell des Rosetta-Landers Philae (Foto: DLR)

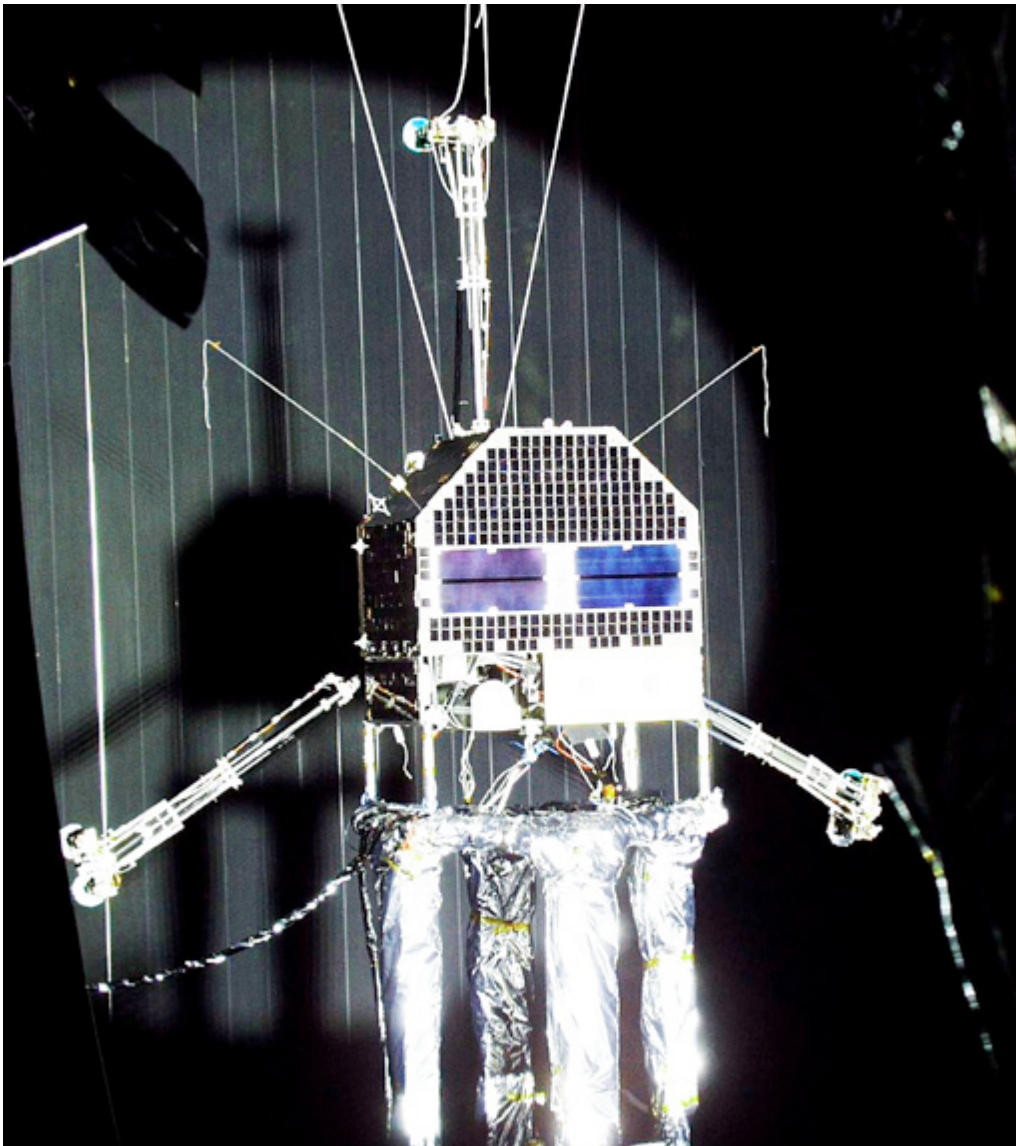


Elmasonic S 50 R Elmasonic S 350 R

zur Schnellentgasung
in der HPLC mit
programmgesteuertem
Ultraschall

- Prüfsiebreinigung
- Lösemittelentgasung
- Probenaufbereitung
- jetzt auch für 200er
und 400er Siebe
in 2 Wannengrößen

Elma Hans Schmidbauer GmbH & Co. KG
Gottlieb-Daimlerstr. 17 · D-78224 Singen
info@elma-ultrasonic.com
www.elma-ultrasonic.com



Rosetta-Lander-Flugmodell während Thermal-Vakuumtests

Rosetta-Lander-Instrumente

Instrument	Type	Principal investigator	Responsible (PI-)institute
APX	Alpha-Röntgen-Floureszenzspektro-meter	G. Klingelhöfer / R. Rieder	Universität Mainz / Max Planck Inst. f. Chemie (D)
COSAC	Evolved gas analyzer	F. Goesmann / H. Rosenbauer	MPS, Max Planck Inst. f. Sonnensystemforschung (D)
Ptolemy	Evolved gas analyzer	I. Wright / C. Pillinger	Open University (UK)
ÇIVA	Kamerasystem (Panorama, Mikroskop)	J.P. Bibring	Institut d'Astrophysique Spatiale, IAS (F)
ROLIS	Kamerasystem	S. Mottola	DLR (D)
ROMAP	Magnetometer/Plasma-Monitor	U. Auster, I. Apathy (kombiniert aus 2 Instrumentvorschlägen)	Max Planck I. extraterr. Physik / TU Braunschweig (D), KFKI (H)
SESAME	Akustisches Seismometer, Staubsensor, Permittivitäts-sensor	K.Seidensticker / D. Möhlmann, W. Schmidt, I. Apathy (kombiniert aus 3 Instrumentvorschlägen)	DLR (D), FMI (SF), KFKI (H)
MUPUS	Temperatur, physikalische Eigenschaften	T. Spohn	Universität Münster und DLR (D)
CONSERT	Radartomografie	W. Kofman	Institut de Planetologie et d'Astrophysique de Grenoble, IPAG (F)
SD2	Bohrer und Probennehmer	A. Ercoli-Finzi	Politecnico Milano (I)

stehung des Lebens (z.B. Aminosäuren) über Kometen auf die frühe Erde gelangt sind. Die chemische Untersuchung des Kometenmaterials ist folglich auch eine Suche nach den Ursprüngen des Lebens [3].

Die Rosetta-Mission und ihre Vorgänger

Rosetta ist eine Mission der Europäischen Welt-raumbehörde ESA zur genauen Erforschung eines Kometen. Sie ist eine so genannte „Corner-stone“-Mission des Wissenschaftsprogrammes „Horizon 2000“. Die Sonde wurde im März 2004 gestartet und ist seitdem auf ihrer Reise zum Ziel-kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko (67P/CG). Insgesamt vier Swing-by-Manöver (drei an der Erde, eines am Mars) waren nötig, um die Bahn an die des Kometen anzunähern. Im son-nenfernen Bereich von Juni 2011 bis Januar 2014 musste die Sonde in einen „Winterschlaf“ versetzt werden, da der Solargenerator nicht ge-nügend Energie für den Betrieb liefern konnte. Rosetta steht in der Tradition der ersten erfolg-reichen interplanetaren Mission der ESA, Giotto, die 1986 am Kometen Halley vorbeiflog. Giotto hat unser Wissen über Kometen revolutioniert: Man erkannte, dass der Schweif in lokal begrenz-ten „Jets“ entsteht, dass der Kometenkern sehr porös ist (niedrige Dichte) und dass Kometen einen signifikanten Anteil an organischen Sub-stanzen beinhalten. Die Staubteilchen, die da-mals mit dem Massenspektrometer PIA (Particle Impact Analyzer) untersucht worden waren, trafen mit sehr hoher Geschwindigkeit (68km/s) auf, sodass die molekulare Struktur weitgehend zerstört wurde. Jene, die Kohlenstoff, Wasser-stoff, Sauerstoff und Stickstoff beinhaltenen, wurden dann einfach CHON-Partikel genannt.

Als weitere Kometenmissionen seien hier die NASA-Projekte Deep Impact und Stardust erwähnt. Das Erstgenannte beinhaltete einen Impaktor auf Komet 9P/Tempel 1 (2005), das Zweitgenannte brachte 2006 mit Aerogelkollektoren gesammeltes Material aus der Koma von 81P/Wild 2 zurück zur Erde. Die durch das Ab-bremsen im Aerogel stark modifizierten Staub-teilchen (die volatilen Komponenten sind weit-gehend verdampft) können nun in Laboren auf der Erde untersucht werden. Rosetta wird die erste Mission sein, die nicht nur an einem Ko-meten vorbeifliegen (oder einschlagen), son-dern diesen für längere Zeit genau beobachten, ihn orbitieren wird. Schließlich wird sie eine Landeeinheit, Philae, darauf absetzen. Dies wird ungleich genauere Untersuchungen erlau-ben, nicht nur, was die Zusammensetzung von Gas und Staub in der Koma sowie im Kern be-

trifft, sondern auch in Bezug auf die zeitlichen Veränderungen, während sich 67P/GC der Sonne nähert und immer aktiver wird [4].

Philae, Landung am Kometenkern

Ein Höhepunkt der Rosetta-Mission wird zweifelsfrei die Landung von Philae im November 2014. Die große Herausforderung besteht dabei darin, auf einem Himmelskörper zu landen, von dem in der Entwicklungsphase der Sonde (und auch jetzt noch) sehr wenig bekannt ist. Die Oberfläche von 67P/CG wird erst im Laufe des Sommers 2014 mit den Kameras auf Rosetta (vor allem OSIRIS) abgebildet; erst dann weiß man über die Topografie und die Form des Kerns Bescheid, erst dann kann man einen geeigneten Landeplatz auswählen und das exakte Abstiegszenario planen. Die Oberflächeneigenschaften (z.B. die Härte des Materials) sind zurzeit völlig unbekannt [5]. Nach Analyse der Daten von den Orbiterinstrumenten und der Wahl eines Landeplatzes wird Rosetta im November 2014 in einer heliozentrischen Entfernung von etwa 450 Mio. km auf einen „Delivery Orbit“ einschwenken und Philae in einer Höhe von ungefähr 3 km über der Kometenoberfläche abstoßen. Der Lander fällt dann langsam (die Gravitation von 67P/CG entspricht nur etwa 10^{-5} der der Erde) zur Oberfläche. Die Impactgeschwindigkeit wird, abhängig von der Kometenmasse und dem letztlich gewählten Szenario, etwa 1 m/s betragen. Beim Auftreffen werden zwei Ankerharpunen geschossen und eine Kaltgasdüse „gezündet“ um ein Abprallen zu verhindern. Sofort beginnt Philae das wissenschaftliche Programm und startet den Betrieb der insgesamt zehn wissenschaftlichen Instrumente an Bord.

Diese beinhalten neben Kameras (z.B. Panoramabild des Landeplatzes mit CIVA-P) v.a. Analyseinstrumente; zwei Evolved Gas Analyzers, COSAC vom Max Planck Institut für Sonnensystemforschung in Göttingen (früher in Lindau) und Ptolemy von der Open University in Milton Keynes (UK) sowie ein Alpha-Röntgen-Floureszenzspektrometer, APXS, vom Max Planck Institut für Chemie bzw. der Universität Mainz. Einige der von Philae gesammelten Proben werden auch mit einem abbildenden IR-Spektrometer (CIVA-M) untersucht [6]. Die Tabelle listet alle zehn Instrumente auf Philae sowie die verantwortlichen Institute und PI's (principal investigator). Philae wird zunächst mit einer Primärbatterie betrieben, die in einer „First Scientific Sequence“ von etwa 50 Stunden erlaubt, jedes Instrument zumindest einmal zu betreiben. Später beginnt die „Long Term Science“, in der die Instrumente auf Basis der von einem Solargenerator gewonnenen Energie über Wochen (hoffentlich Monate) Untersuchungen durchführen werden können. Das Betriebszentrum für den Lander befindet sich im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR in Köln, alle Telemetrie und Kommandos werden über ESA/ESOC in Darmstadt und den Rosetta-Orbiter geleitet. Philae wurde von einem internationalen Konsortium beigestellt, die Projektverantwortung liegt beim DLR.

Analyse des Kometenmaterials

Wie eingangs erwähnt, besteht das wissenschaftliche Hauptinteresse in der Erforschung von Kometenmaterial und damit in der genauen Analyse des Materials. Sowohl die Chemie als auch die Element- und Isotopenhäufigkeiten sowie die Mineralogie geben Auskunft über die Entwicklung des Sonnensystems sowie die Entstehung des Lebens. Am Rosetta-Orbiter befinden sich Massenspektrometer zur Analyse der Staubteilchen (COSIMA) und des Gases in der Koma (ROSINA). Das wirklich unverfälschte Material erhofft man sich jedoch im Kern, wenige Zentimeter unter einer möglichen Kruste. Dies macht die Untersuchungen, die nur mit einem Lander möglich sind, so besonders wertvoll. In diesem Artikel wird exem-

grün for science

- Zellkultur
- Mikrobiologie
- Biochemikalien

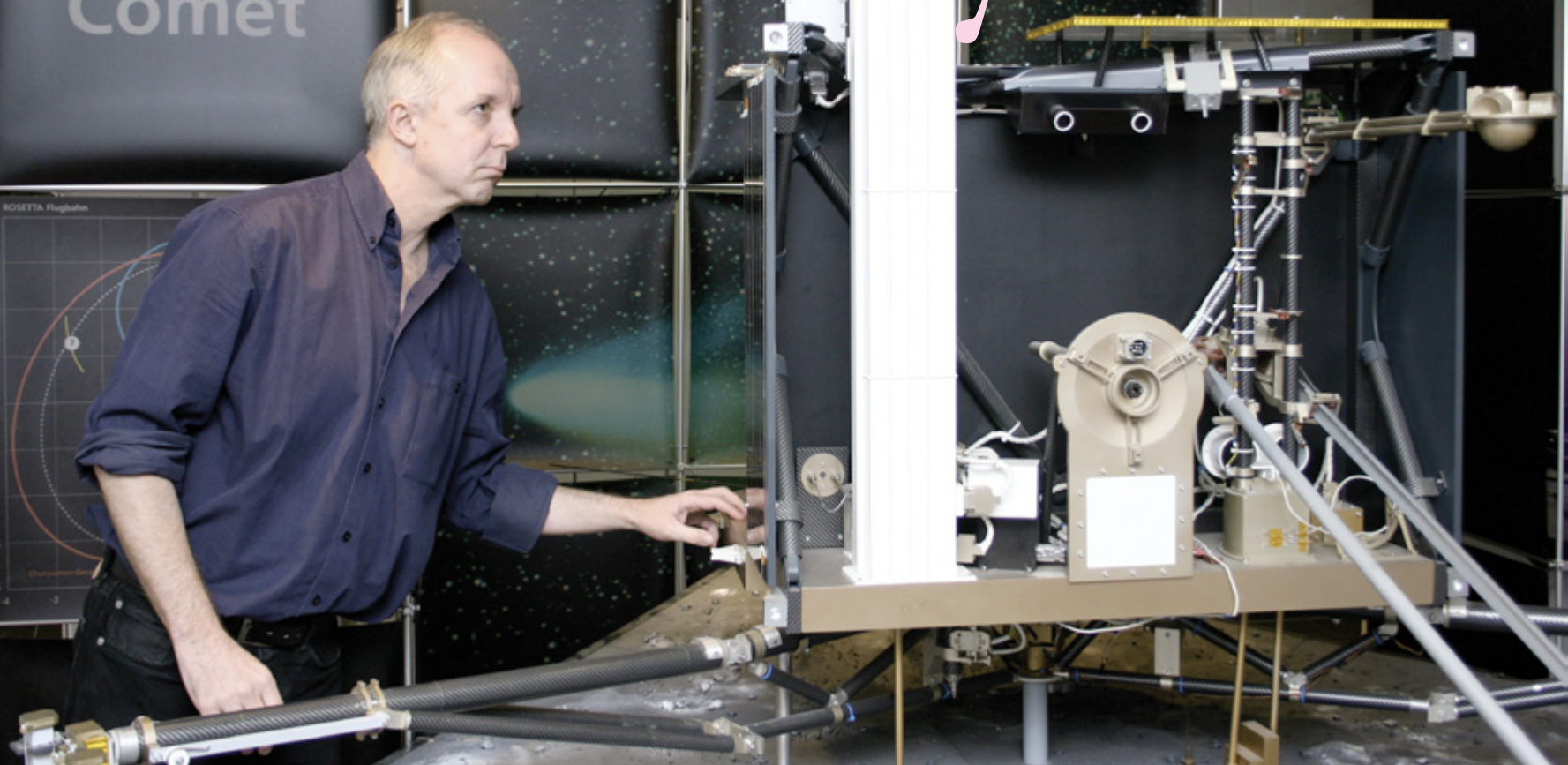
www.BioFroxx.com



BioFroxx GmbH

Werner-von-Siemens-Str. 2 Tel. +49 (6157) 989 50-00
D-64319 Pfungstadt Fax +49 (6157) 989 50-01

kosmoanalytik



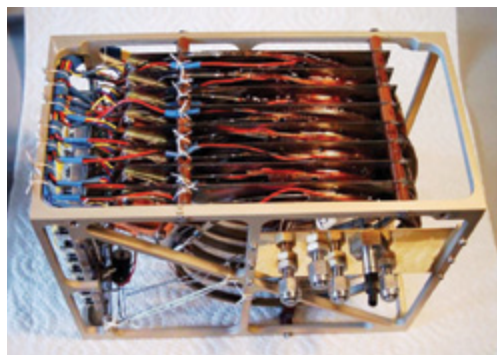
Stephan Ulamec, Jg. 1966, studierte Geophysik in Graz, wo er im Jahr 1991 über In-situ-Messmethoden im Zusammenhang zur ESA Huygens-Mission zum Saturnmond Titan promovierte. In der Folge ging er als Research Fellow zur European Space Agency, ESA/ESTEC und arbeitete dort an der Vorbereitung planetarer Wissen-

schaftsmissionen wie Marsnet oder Rosetta. 1994 kam er an das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR, nach Köln und begleitete dort die Entwicklung und den Betrieb des Rosetta-Landers Philae. Ulamec ist Co-Investigator des Experimentes COSAC zur In-situ-Analyse von Kometenmaterial. Er ist ebenfalls involviert in

MASCOT (kleines Landegerät für die japanische Hayabusa 2-Mission zu einem erdnahen Asteroiden) sowie der Planung und Missionsauslegung zukünftiger Missionen zu Kometen und Asteroiden, unter anderem mit NASA und JAXA.

plarisch in erster Linie auf das Instrument COSAC und die damit geplanten Messungen kurz eingegangen. Als weiterführende Literatur zur Rosetta-Mission und zu den Instrumenten auf Orbiter und Lander sei ausdrücklich auf die Sonderausgabe in Space Science Reviews, 2007 bzw. das daraus entstandene Buch „Rosetta -ESA's Mission to the Origin of the Solar System“ von R. Schulz, C. Alexander, H. Bönnhardt und K.-H. Glaßmeier (Eds.) verwiesen [4].

COSAC (Cometary Sampling and Composition Experiment) ist ein kombiniertes System,



Der COSAC-Gaschromatograph mit den acht Säulen und den Anschlüssen [7]

bestehend aus einem Massenspektrometer und einem Gaschromatografen mit acht Säulen zur Auswahl [7]. Die zu analysierenden Proben werden mit dem „Sampling Distribution & Drill“ (SD²) auf Philae von der Kometenoberfläche (bzw. aus einem Bohrloch von bis zu etwa 20 cm Tiefe) entnommen und in kleinen Öfchen platziert. Die Proben können bis 800 °C erhitzt werden, die entweichenden Gase werden über „Tapping Stations“ und Röhrchen zum Instrument geleitet. Insgesamt stehen in dem System 28 Öfchen zur Verfügung (die jedoch mit dem Instrument Ptolemy geteilt werden müssen). Einige dieser Öfchen haben Saphirfenster (diese können nur bis 350 °C erhitzt werden) und erlauben die Beobachtung mit dem CIVA-M Mikroskop im sichtbaren und IR-Bereich. COSAC beinhaltet neben den Analyseinstrumenten zwei Heliumdrucktanks sowie ein System aus Ventilen und Verbindungsröhrchen, um das zu untersuchende Gas wahlweise zum Massenspektrometer, einer GC-Säule oder einer entsprechenden Kombination zu leiten. Das Gesamtsystem hat eine Masse von nur etwa 4,5 kg und ist ein bemerkenswertes Beispiel für die Miniaturisierung von Laborinstrumenten, wie sie für die Raumfahrt notwendig

ist. Das Time-of-Flight-Massenspektrometer mit einer Elektron-Impact-Ionenquelle und einem Multisphären-Sekundärelektronen-Multiplier (multisphere plate) als Detektor hat einen Messbereich von 1–1500 amu und eine Massenauflösung ($m/\Delta m$) von etwa 350 (bei $m=70$). Alle Ionen werden mit einer Energie von 1500 eV beschleunigt. Das Massenspektrometer wurde im Flug schon mehrmals in Betrieb gesetzt, z. B. beim Vorbeiflug am Asteroiden (21) Lutetia (wo allerdings keine Exosphäre nachgewiesen werden konnte). Von den acht Säulen, die für die Gaschromatografie zur Auswahl stehen, sind fünf für allgemeine Separation geeignet, eine Kohlenstoff-Molekularsieb-PLOT-Säule (porous-layer open tubular) zur Analyse von Edelgasen und leichten Kohlenwasserstoffen und vier mit Beschichtung (z. T. mit flüssig stationärer Phase) zur Separation komplexerer Kohlenwasserstoffe und Aromate [8]. Drei Säulen können mittels chiralen Valins und α - und β -Cyclodextrinen, eingelagert in flüssigem Polydimethylsiloxan (PDMS), auch Enantiomere separieren [9,10]. Zur Detektion von nicht volatilen Komponenten (wie z. B. Aminosäuren) wird durch Dimethyl-

formamid-Dimethylacetal (DMF-DMA) in einem der Öfchen die Umwandlung in flüchtige Derivate bewirkt.

Beim Instrument Ptolemy liegt der Schwerpunkt der Messungen weniger auf der organischen Analyse des Kometenmaterials als in der Bestimmung der Isotopenverhältnisse leichter Elemente wie $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$, $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ und $^{16}\text{O}/^{17}\text{O}$. Die Bestimmung des D/H-Verhältnisses erlaubt, den Anteil kometaren Wassers in den Erdozeanen zu erörtern [4]. Da es durch die Sublimation und die Jetbildung zu einer Veränderung der Isotopenzusammensetzung kommt, sind die Messungen am Kometenkernmaterial besonders wichtig. Ptolemy beinhaltet neben dem Massenspektrometer und den drei GC-Säulen auch chemische Reaktoren, um isotopisch einfach zu untersuchende Moleküle zu erhalten. In den Reaktoren befindet sich z.B. Asprey'sches Salz (K_2NiF_6), das beim Erhitzen Fluor abgibt [11]. Das APXS (Alpha Particle X-ray Spectrometer) vom Max Planck Institut für Chemie aus Mainz (nun unter Verantwortung der Universität Mainz) regt die Atome der zu untersuchenden Oberfläche durch die Strahlung einer ^{244}Cm Curiumquelle an. Das Alpha- bzw. Röntgenfluoreszenzspektrum verrät die Elementhäufigkeit ($Z > 2$) in der Probensubstanz [4].

Ausblick

Im Laufe des Jahres 2014 wird sich Rosetta dem Kometen nähern und ihn ab Anfang August aus einem Orbit untersuchen. Dies eröffnet uns erstmals die Gelegenheit, die Koma eines Kometen über einen längeren Zeitraum aus der Nähe und im Detail zu untersuchen. Der Kern wird mit Fernerkundungsexperimenten charakterisiert, im November wird schließlich der Lander Philae abgesetzt. Der Lander überlebt auf der Oberfläche für wenige Monate (bis er überhitzt oder die Solarzellen von Staub bedeckt sind), Rosetta setzt die Untersuchungen bis Ende 2015 fort. Die wissenschaftlichen Ergebnisse werden helfen, die Geschichte des Sonnensystems sowie den Ursprung des Lebens besser zu verstehen. Das internationale Team sieht den kommenden Monaten mit großer Spannung entgegen. Der nächste große Schritt in der Kometenforschung nach Rosetta könnte die Rückführung von Material von der Kometenoberfläche zurück zur Erde sein. Im Unterschied zu Philae, wo das „Labor zum Kometen gebracht wird“, hätte man dann die Möglichkeit, die Materialanalysen mit den Laborgeräten auf der Erde durchzuführen. Entsprechende „Sample Return“-Missionen werden zurzeit bereits studiert und vielleicht in den 2020er-Jahren gestartet.

→ stephan.ulamec@dlr.de

Literatur

- [1] Stoyan R. (2013) *Atlas der Großen Kometen*
- [2] Muñoz Caro G.M., Meierhenrich U.J., Schutte W.A. et al. (2002) *Nature*, Vol. 416, pp. 403–406
- [3] Eberfreund P., Irvine W., Becker L. et al (2002) *Rep. Prog. Phys.*, Vol. 65, pp. 1427–1487
- [4] Schulz R., Alexander C., Bönnhardt H. und Glasmeier K.H. (Hg) (2009) *Rosetta - ESA's Mission to the Origin of the Solar System*
- [5] Ulamec S., Biele J., Fantinati C. et al. (2012) *Acta Astron.*, Vol. 81, pp. 151–159
- [6] Biele J. & Ulamec S. (2008) *Space Sci. Rev.*, Vol. 138, pp. 275–289
- [7] Goesmann F., Rosenbauer H., Roll R. et al. (2007) *Space Sci. Rev.*, Vol. 128, pp. 257–280
- [8] Szopa C., Sternberg R., Coscia D. et al. (2002) *Journal of Chromatography A*, pp.165–173
- [9] Meierhenrich U.J. (Hg.) (2009) *Amino Acids and the Asymmetry of Life*
- [10] Schurig V. (2007) *Entstehung des Lebens, labor&more Ausgabe 03.07*
- [11] Wright I.P., Barber S., Morgan G. et al. (2007) *Space Sci. Rev.*, Vol. 128, pp. 363–381



Über 20 Jahre Erfahrung für den Erfolg Ihrer Zellkultur.

Optimiert und erweitert!

Sarstedt bietet Ihnen ein breites Spektrum an hochwertigen Zellkulturprodukten, die weltweit vertrieben werden:

- **Drei verschiedene farbcodierte Oberflächen**
- **Neue anwenderfreundliche Geometrien**
- **Kennzeichnung aller Gefäße mit Chargennummer und Haltbarkeitsdatum**

Besuchen Sie uns auf der
Analytica 2014
Halle B1, Stand 307



 **SARSTEDT**

www.sarstedt.com